

# Dispositivo de adquisición y transmisión de la posición de un vehículo mediante GPS y Wi-Fi

*Carlos R. Vázquez Seisdedos, Edwin F. Palacios Meléndez, Luis S. Córdova Rivadeneira, Manuel Romero Paz*

## RESUMEN / ABSTRACT

En este trabajo se describe el diseño e implementación de un dispositivo móvil para la adquisición, transmisión y visualización de la posición de un vehículo hacia un terminal remoto, compuesto por una computadora y un punto de acceso inalámbrico. El dispositivo contiene un módulo receptor de GPS PARALLAX, un conversor serie-Ethernet LANTRONIX, un visualizador de cristal líquido (LCD) y un punto de acceso inalámbrico TPLINK, todos gobernados por un microcontrolador PIC 16F870. Las pruebas experimentales del prototipo realizadas en un vehículo dentro y fuera del Campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil evidenciaron que el dispositivo desarrollado es capaz de adquirir y transmitir las coordenadas de latitud y longitud con una exactitud mínima de 4,4 m y 6,1 m, respectivamente, así como funciona correctamente en condiciones de velocidad variables entre 0 y 140 km/h. El tiempo de adquisición y visualización de la posición es de 1 minuto aproximadamente, que es suficiente para el futuro monitoreo de un vehículo de transporte urbano.

**Palabras claves:** GPS, Wi-Fi, Seguimiento de vehículos

*In this paper the design and implementation of a mobile device for the acquisition, transmission and display of the vehicle position to a remote terminal, comprising a computer and a wireless access point is described. The device contains a GPS receiver module, a serial-Ethernet converter, a liquid crystal display (LCD) module and a wireless access point, all governed by a 16F870 PIC microcontroller. The experimental tests of a prototype, inside and outside of the Catholic University of Santiago de Guayaquil campus, showed that the developed device is able to acquire and transmit the coordinates of latitude and longitude with a minimal accuracy of 4.4 m and 6.1m, respectively and it works correctly under variable speed from 0 to 140 km/h. The acquisition-and-display time of the position is 1 minute, which is enough for future monitoring of urban transport vehicle.*

**Key words:** GPS, Wi-Fi, Tracking System

*Car Tracking System based on GPS and Wi-Fi*

## 1. -INTRODUCCIÓN

Actualmente, el rastreo vehicular ha tomado gran importancia a nivel mundial. Existe una extensa variedad de aplicaciones dentro de las cuales se encuentran: la localización del vehículo en caso de roturas, asistencia vial en siniestros o accidentes, diseño de rutas, control logístico de flotillas, entre otras. Dentro del control logístico se tienen interesantes aplicaciones. Muchas empresas utilizan sistemas de rastreo satelital para ubicar y controlar de una forma eficiente sus unidades con el objeto de reducir tiempos y costos de operación. Otra aplicación consiste en guiar ambulancias, bomberos, policía o grupos de rescate al lugar del siniestro reduciendo tiempos de respuesta y, por ende, salvar vidas. En ambos casos se desarrollan sistemas de cartografía y diseño de rutas con el objetivo de definir la ruta más corta, o la ruta más rápida.

Para monitorear la posición de un vehículo, en este debe ir un dispositivo transmisor-receptor que reciba las coordenadas (latitud y longitud) mediante el sistema de posicionamiento global GPS [1,2] y luego las transmita (al menos) a una estación fija que recibe, procesa y muestra la posición del vehículo. Entre las alternativas usadas para el sistema de transmisión están los: radiolocalizadores [3], módulos GSM [4,5], y módulos inalámbricos en banda civil [6].

Los radiolocalizadores fueron una solución efectiva para la ubicación de empleados o para la transmisión de mensajes y datos, pero cayeron en la obsolescencia y desaparecieron del mercado. El sistema GSM (del inglés, *Group Special Mobile*) es un estándar mundial abierto para teléfonos o módulos móviles digitales (segunda generación) [1,7] que ofrece una gran variedad de servicios como: telefonía, transferencia de datos, fax, mensajes cortos de texto de hasta 160 caracteres con una tasa de transferencia de 9,6 kbps. El Servicio general de paquetes vía radio o GPRS (del inglés, *Global Packet Radio Service*) es una extensión del sistema GSM para la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes.

La red de área local inalámbrica o WLAN (*Wireless Local Area Network*) es un sistema de comunicación de datos flexible para transmitir y recibir datos minimizando la necesidad de conexiones cableadas y combinando la conectividad hacia la red de datos con la movilidad del usuario. El estándar 802.11b sobre WLAN establece la frecuencia de 2,4 GHz (banda no licenciada de radiofrecuencia), con transmisión de datos de hasta 11 Mbps. También se la conoce como “Wi-Fi” que es la abreviación de “*Wireless Fidelity*”, o “fidelidad inalámbrica” [7].

En los últimos años, la tendencia ha sido la implementación de sistemas de seguimiento en tiempo real que combinen módulos GPS y GSM/GPRS. En [8] se usa el módulo de cuatro bandas GM862 y un servidor web para monitorizar, sobre un mapa específico, la posición de un vehículo, su velocidad y la distancia recorrida en millas. En [9] se usa el módem de tres bandas GSM/GPRS SIM 300 y un visualizador LCD de 16x2, todos gobernados por un microcontrolador ATMEGA16, así como una estación base conectada a internet en la cual se ejecuta una aplicación web para realizar el seguimiento.

Recientemente, en [10] se agrupan los sistemas de rastreo vehicular de acuerdo a tres criterios: (a) tipo de seguimiento (tiempo real y diferido), (b) tipos de dispositivos móviles (comerciales, construidos y teléfonos inteligentes) y (c) canal de comunicación para transferir los datos adquiridos (GSM/GPRS, SMS y 3G). En ninguna de las 10 referencias analizadas en ese trabajo, se reporta el uso de redes Wi-Fi. Los autores de este trabajo proponen una arquitectura generalizada para el dispositivo móvil que combina módulos *Arduino GPS Shield* (GPS-10710) y *Wi-Fi Shield* (DEV-11287) que contienen módulos GPS y Wi-Fi, respectivamente. El módulo *Wi-Fi Shield*, adicionalmente, contiene una memoria portátil del tipo “*Secure Digital*” (SD), que se usa para almacenar la localización durante el recorrido, antes de transferirla, vía Wi-Fi, a un servidor central.

En el Ecuador los costos para acceder al servicio de telefonía celular varían según el plan. El precio más económico es 25 USD que incluye voz y 500 Mb de datos. Sin embargo, el servicio de Wi-Fi es gratuito tanto en la universidad como en todas las paradas del Sistema Integrado de Transporte Masivo Urbano de Guayaquil METROVÍA, que son los escenarios de aplicación de este trabajo.

El objetivo del presente trabajo es diseñar e implementar un dispositivo prototipo para la adquisición y transmisión de la posición de un vehículo en movimiento, mediante GPS y Wi-Fi, respectivamente.

El trabajo se organiza como sigue. En el apartado 2, se presenta la arquitectura general del sistema de comunicación y se describen las características principales de los módulos que formarán parte del diseño del dispositivo móvil que es el objetivo central de este trabajo. En el apartado 3 se describe y se fundamenta detalladamente el diseño en sus aspectos hardware y software. En el apartado 4 se describen las pruebas realizadas para evaluar el dispositivo construido y se presentan los resultados obtenidos. Finalmente, se dan las conclusiones del trabajo.

## **2.- ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN**

La arquitectura general del sistema de adquisición, transmisión y visualización de la posición del vehículo está compuesta por dos partes: el dispositivo móvil, ubicado en el vehículo, y el terminal remoto ubicado en un punto del terreno que tiene visibilidad electromagnética total con el dispositivo móvil, como se muestra en la figura 1.

El dispositivo móvil tiene las funciones siguientes: (a) adquirir las coordenadas de posición (latitud y longitud) que suministra el módulo receptor de GPS, (b) mostrarlas en un visualizador LCD de 16 caracteres y 2 filas y (c) transmitir las hacia el terminal remoto a través de un módulo WLAN y un módulo de acceso inalámbrico móvil. El módulo WLAN, adicionalmente, las transforma de formato serie asíncrono a formato de red (Ethernet). El terminal remoto tiene la función de recibir (a través de módulo de acceso inalámbrico) las coordenadas de posición y mostrarlas sobre un mapa digitalizado usando la aplicación “*Google Earth*” [10], la cual se encuentra instalada en un computador conectado a internet. A continuación se describen los principales módulos con que consta dicho sistema.

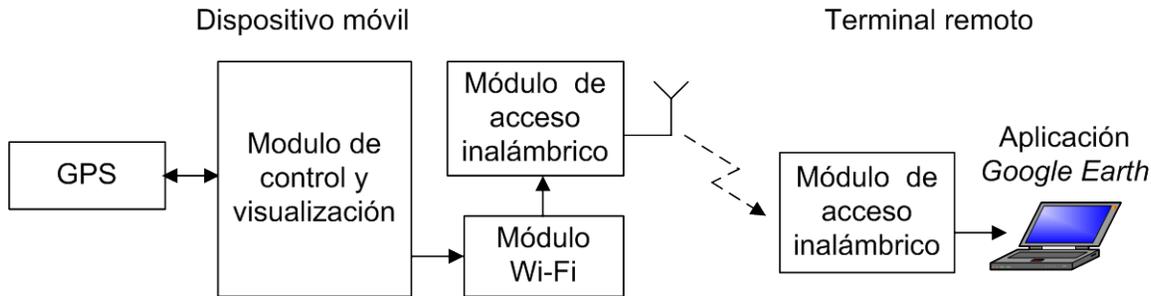


Figura 1

Arquitectura del sistema propuesto para el monitoreo de la posición de un vehículo.

## 2.1.- MÓDULO RECEPTOR DE GPS

Para seleccionar al módulo receptor de GPS se consultaron las características de tres modelos existentes en el mercado ecuatoriano en el momento de realizar el trabajo (ver Tabla 1), los cuales poseen prestaciones similares en cuanto a: disponibilidad de antena integrada, número de canales (entre 16 y 20), formato de la señal de salida (NMEA, *National Marine Electronics Association*), tensión de alimentación (5 V), niveles de tensión (compatibles con TTL), velocidad de transmisión (4800 bps) y dimensiones pequeñas (máxima de 48 x 35 x 15 mm). En la Tabla 1 se muestran las principales diferencias entre estos módulos (los costos de envío oscilan entre \$15 y \$30 en dependencia del proveedor).

Tabla 1  
 Consumo de corriente y precios de los módulos receptores de GPS considerados para el diseño

Módulo	Consumo @ 5V	Precio	Costos de envío
MICRO-MINI	36 mA	\$ 93,39	Si
MINIMOD	45 mA	\$ 74,32	Si
PARALLAX	115 mA	\$ 79,99	No

En este trabajo se seleccionó el módulo receptor GPS PARALLAX [11] debido su menor costo, aun cuando es el de mayor consumo pero este no es un parámetro crítico ya que será alimentado por la batería de un vehículo. Posterior a la realización de este trabajo, salió al mercado una versión moderna de este módulo cuyo consumo es de 65 mA.

El módulo GPS PARALLAX tiene la capacidad de rastrear hasta 16 satélites simultáneamente, utiliza la banda L1 (1575,42 MHz) para adquirir las señales de navegación y posicionamiento. Emplea el código C/A (*coarse/acquisition*) que es un código pseudoaleatorio (PRN) repetitivo con frecuencia de bits de 1023 MHz y 1 ms de periodo. Cada satélite tiene un código C/A PRN único y es usado, principalmente, para modular la portadora L1. El módulo debe montarse horizontalmente de modo que la parte frontal se encuentre frente al cielo para poder localizar a los satélites, lo cual es propio del sistema GPS.

Este módulo proporciona la hora actual, fecha, latitud, longitud, altitud, velocidad y dirección, entre otros datos. Opera correctamente mientras esté sometido a velocidades menores a los 515 m/s (1854 km/h) y a alturas menores a los 18000 m. Puede alcanzar una aceleración de hasta 39 m/s<sup>2</sup>, lo que permite que el móvil donde esté instalado pueda tener un cambio de velocidad de 0 a 140 km/h en un intervalo de tiempo de un segundo. El rango de temperatura de operación es de -30 °C a 80 °C. Las características más relevantes de este módulo son: (a) posee una interfaz de comunicación serie asincrónica (TTL, 4800 bps, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada) y datos no invertidos, (b) emplea los comandos estándares del protocolo NMEA0183, (c) posee una antena pasiva integrada, (d) actualiza los datos una vez por segundo, (e) posee alta sensibilidad (-152 dBm para el seguimiento y -139 dBm en la de adquisición) y (f) cuenta con una batería recargable para la memoria. En promedio, el módulo tiene una exactitud de posición de +/- 5 m y una precisión de velocidad de +/- 0,1 m/s. La figura 2a muestra al módulo receptor GPS PARALLAX y la figura 2b muestra sus terminales de: alimentación (+5V y GND), datos (E/S) y configuración (Modo). El LED que aparece en la figura 2b permite indicar el estado de la comunicación: parpadea durante el rastreo de los satélites, y permanece encendido cuando se adquieren las señales de, al menos, 3 satélites, lo que equivale a la condición de "Listo" para transmitir datos válidos. La obtención del estado de "Listo" puede durar hasta 5 minutos.

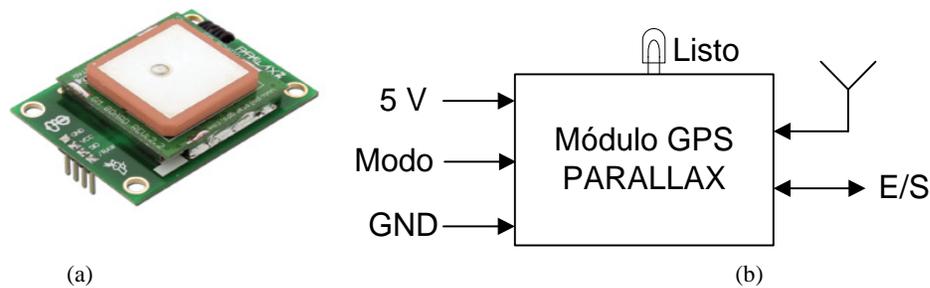


Figura 2

Módulo receptor GPS PARALLAX: (a) foto, (b) terminales y LED indicador de estado.

El terminal Modo permite al usuario seleccionar entre los modos de operación siguientes:

- Modo inteligente: se activa cuando el terminal Modo se pone a nivel ALTO o se deja desconectado (el terminal posee internamente un resistor de *pull-up*). En este modo se le envían comandos específicos por el terminal E/S (4800 bps, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada y datos TTL no invertidos) y a través de este mismo terminal el módulo GPS retorna los datos solicitados. Para enviar un comando al módulo GPS, debe enviarse la cadena ASCII "!GPS" (encabezado) seguida por el comando en hexadecimal. Dependiendo del comando enviado, serán devueltos un número determinado de bytes de datos, como se muestra en la Tabla 2. Con los bytes enviados se puede visualizar la información en el periférico deseado (módulo LCD, monitor de computadora u otro).

Tabla 2  
Comandos (CMD) del módulo GPS PARALLAX.

CMD	Constante	Descripción	Bytes retornados	Variables
0x00	GetInfo	Versión del Módulo GPS	2	<i>Hardware, Firmware</i>
0x01	GetValid	Comprueba la validez de los datos de la cadena	1	0=No válido, 1=Válido
0x02	GetSats	Número de satélites (Máximo 16)	1	Satélites
0x03	GetTime	Tiempo (UTC/Greenwich)	3	Hora, minuto, segundo
0x04	GetDate	Fecha (UTC/Greenwich)	3	Mes, Día , Año
0x05	GetLat	Latitud	5	Grados, minutos, minutos fraccionales (Word) y dirección (0=Norte, 1 =Sur)
0x06	GetLong	Longitud	5	Grados, minutos, minutos fraccionales (Word) y dirección (0=Este, 1 =Oeste)
0x07	GetAlt	Altitud sobre el nivel del mar (décimas de metros)	2	Altitud (Word)
0x08	GetSpeed	Velocidad (décimas de nudos)	2	Velocidad (Word)
0x09	GetHead	Orientación/Dirección de viaje (décimas de grados)	2	Dirección (Word)

- Modo no inteligente o sin procesamiento (modo *RAW* en inglés): se activa cuando el terminal Modo se pone a nivel BAJO. En este caso, el módulo GPS transmitirá tramas en el formato NMEA 0183 por el terminal E/S (4800 bps, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada y datos TTL no invertidos). Se pueden transmitir informaciones

diferentes, desde la más básica como longitud y latitud, hasta datos utilizados por expertos como la inclinación de los satélites respecto a la horizontal. La concepción del protocolo NMEA consiste en enviar tramas de datos llamadas sentencias que son diferentes entre sí. Existen sentencias estándares para cada tipo de dispositivo y se pueden definir sentencias propietarias para uso específico. Todas las sentencias estándares tienen un prefijo de dos letras que identifica al dispositivo emisor de la sentencia (GP para receptores GPS) y a continuación aparecen tres letras que definen el contenido de la sentencia. La estructura de los mensajes NMEA y el significado de cada uno de los campos (de 1 byte cada uno) se muestra en la figura 3.

\$	ID	MSG	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	...	D <sub>n</sub>	*	CS	\r	\n
----	----	-----	----------------	----------------	-----	----------------	---	----	----	----

Figura 3

**Estructura general de una trama o sentencia NMEA 0183.**

El carácter "\$" indica el comienzo de la trama, "ID" es el prefijo de dos letras que identifica al emisor de la trama (GP para receptores GPS), MSG es un código de tres letras que identifica el contenido de la trama y el orden en que aparecerán los datos siguientes D1, D2...Dn. Los datos son textos en código ASCII que contienen información diversa (latitud, longitud, altitud, tiempo UTC, etc.) y cuya longitud depende del tipo de sentencia que defina el código MSG. Cada campo se delimita por una coma. La cantidad de datos no puede ser mayor a 80 caracteres visibles (imprimibles) de texto, más el retorno de carro. A continuación de los datos, aparece un asterisco (\*) que actúa como delimitador, y seguidamente, el campo de chequeo de errores CS (*checksum*) que contiene al OR exclusivo de todos los caracteres previos sin incluir el "\$" y "\*". Si al realizar la verificación de la trama, esta no coincide con el contenido del campo CS, entonces el receptor espera las siguientes tramas para obtener los datos válidos. La trama NMEA termina con los caracteres de retorno de carro (\r) y fin de línea (\n), los cuales son caracteres no imprimibles.

La sentencia NMEA más utilizada es la GGA (arreglo de datos del GPS) pues proporciona los datos fijos esenciales: tiempo UTC, latitud y su dirección Norte/Sur, longitud y su dirección Este/Oeste y altitud, entre otros. Las sentencias propietarias tienen una estructura similar pero usan otros campos de identificación. En cualquier caso, para capturar una trama, es necesario identificar el carácter "\$", y luego desempaquetar el resto de la información, carácter a carácter.

En este trabajo se optó por usar el modo inteligente porque es más fácil de implementar desde el punto de vista de software ya que para recibir un dato en específico, sólo es necesario enviar al módulo GPS, el comando específico de la Tabla 2 y posteriormente recibir su respuesta por la misma línea E/S (bidireccional) sin necesidad de tener que analizar sintácticamente las diversas tramas NMEA posibles para extraer la misma información. Por ejemplo, si se desea conocer el valor de la latitud actual, sólo es necesario enviar al módulo GPS la cadena: "!GPS", 5, y a continuación, esperar por los cinco bytes de respuesta que contendrán, consecutivamente: grados, minutos, y minutos fraccionales (Ej.: 36 grados, 35 minutos y .9159 minutos fraccionales, 0: Dirección Norte) según expresa el formato de este comando en la Tabla 2.

## 2.2.- MÓDULO SERIE - ETHERNET XPORT DIRECT

El módulo Serie-Ethernet *XPORT Direct* (figura 4) de la empresa LANTRONIX [12] es un dispositivo transmisor-receptor que permite conectar a cualquier microcontrolador con entrada/salida serie asincrónica a una red Ethernet, posibilitando la creación de conexiones TCP activas y pasivas así como el envío y recepción de datagramas UDP. El módulo XPORT permite conexiones entrantes desde cualquier sistema con un número IP hasta un puerto determinado, denominado Puerto Local (*Local Port*). A su vez, al XPORT se le puede programar [12], a través del puerto serie, un número IP y un puerto, el cual tiene conexiones por defecto: *Remote host* y *Remote Port*. En este trabajo, el XPORT responde al puerto 2000 de la dirección IP 192.168.0.211. A pesar de que la alimentación del módulo puede estar en el rango de 3,14 V a 3,46 V (típica de 3,3 V), sus entradas de datos son tolerantes a entradas de 5 V ( $V_{IH,max} = 5,5$  V;  $V_{IL,max} = 0,8$  V) y sus salidas de datos son compatibles con los niveles de tensión TTL ( $V_{OL,max} = 0,4$  V;  $V_{OH,min} = 2,4$  V). Esto permite la conexión directa con los terminales del microcontrolador, cuya tensión de alimentación es de 5 V. La velocidad de transmisión es configurable por programa (desde 300 bps a 921 kbps), así como el formato serie (7 u 8 bits de datos, 1 o 2 bits de parada, paridad par/impar/ninguna). El costo de este módulo fue de \$49.

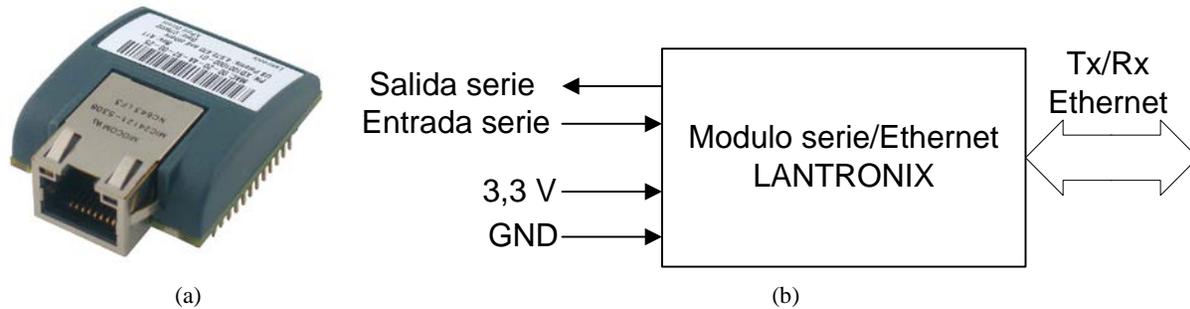


Figura 4

Módulo transmisor-receptor LANTRONIX. La entrada y salida serie son asincrónicas: (a) foto, (b) terminales.

## 2.3.- MÓDULO DE ACCESO INALÁMBRICO

El módulo de acceso inalámbrico móvil usado fue el *N-Mini-Pocket-Router TP-link 150 Mbps* [13], el cual puede alcanzar velocidades de comunicación de hasta 150 Mbps y un alcance entre 400 m y 500 m en exteriores y sin obstáculos en la línea de visibilidad directa. Es compacto, portable y posee una antena integrada (figura 5a). Usa las siguientes modulaciones: DBPSK, DQPSK, CCK, 16-QAM, 64-QAM, BPSK y QPSK. La sensibilidad del receptor es de  $-70$  dBm. Se puede alimentar externamente con 110 VAC o internamente con  $+12$  V DC. Su precio es de \$25.

El módulo de acceso inalámbrico fijo usado fue el *NanoStation UB NSM2* [14] de la empresa "Ubiquiti" el cual opera con modulación de acceso múltiple por división en tiempo (TDMA, *Time Division Multiple Access*) a 2,4 GHz con una potencia de hasta 28 dBm (630 mW) permitiendo tasas de transferencia TCP/IP de hasta 150 Mbps y un alcance superior a 15km. Posee una antena direccional ( $55^\circ$ ) integrada de polaridad doble de 11 dBi de ganancia, con un aislamiento de polaridad cruzada optimizado y con un diseño y formas compactos (figura 5b). La sensibilidad del receptor es de  $-97$  dBm (max). Se alimenta con un adaptador de 24 V/0,5A, que posee protección contra sobretensión. El precio total del módulo es de \$80.

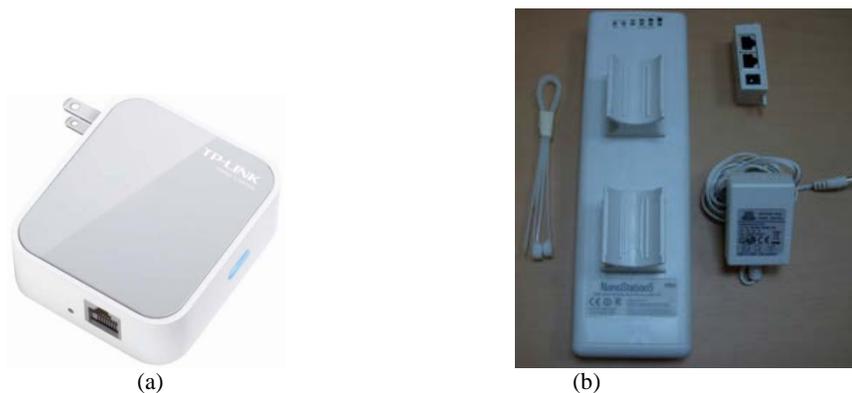


Figura 5

Módulos de acceso inalámbrico: (a) móvil y (b) fijo UB NSM2.

## 2.4.- MÓDULO DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN: ELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

El microcontrolador a usar en este diseño debe, como mínimo, disponer de: (a) un puerto serie asincrónico para conectarse al módulo Wi-Fi, (b) posibilidad de interrupciones externas, (c) 12 líneas de E/S para conectar: 2 teclas, un visualizador LCD (7), un módulo GPS (1) y un módulo serie-Ethernet (2), (d) posibilidad para transmitir y recibir datos en formato serie asincrónico con el módulo GPS usando una sola línea como entrada y salida, (e) un lenguaje de programación de alto nivel que facilite lo anterior así como la comunicación con los módulos Wi-Fi y LCD, y (f) suficiente espacio de memoria de programa y datos para almacenar los códigos y variables generados por el lenguaje de programación a ser usado. Adicionalmente, se desea que sea un dispositivo de bajo costo, fácil de obtener en el mercado nacional y del cual existan

herramientas de puesta a punto y experiencia en su uso. Todo lo anterior conllevó a la elección de un microcontrolador PIC de gama media. Entre los microcontroladores PIC más comunes en el mercado, que satisfacen estos requerimientos están el 16F628, el 16F870 y el 16F871. Teniendo en cuenta el tamaño de la memoria de programa (16F628: 1k x 14 bits, 16F870 y 16F871: 2k x 14 bits) y de datos (16F628: 224 bytes, 16F870 y 16F871: 128 bytes), el número de líneas de E/S: (16F628: 13, 16F870: 22 y 16F871: 32) y los costos (16F628: \$ 3,80, 16F870: \$ 4,80 y 16F871: \$ 6,20) se decidió usar el microcontrolador 16F870, el cual posee recursos de reserva para futuras ampliaciones. El lenguaje de programación seleccionado fue el PICBASIC PRO (PBP) [15] ya que es idóneo para cumplir los requerimientos anteriores, y en especial los puntos (d) y (e).

### 3.- DISEÑO DEL DISPOSITIVO MÓVIL

#### 3.1.- HARDWARE

En la figura 6 se muestra el diagrama eléctrico del dispositivo móvil mostrado en la figura 1 el cual ha sido concebido sólo para transmitir la información hacia el terminal remoto (no en sentido contrario) y al mismo tiempo mostrar las coordenadas de posición (latitud y longitud) en el módulo LCD LM016, todo lo anterior, gobernado por el microcontrolador PIC16F870 que opera con un cristal externo de 4 MHz. El módulo LCD LM016 se configura para trabajar en el modo de 4 bits y posibilidad de exhibir dos filas con 16 caracteres cada una.

Se usan tres teclas: RESET para inicializar el PIC16F870, ENTER para validar acciones mostradas en el LCD y ALARMA, para indicar alguna situación de inseguridad en el vehículo y enviar un código a la estación remota (actualmente se envía el carácter de control ESCAPE, que no forma parte de los datos enviados al terminal remoto). La tecla ENTER se atiende por encuesta dentro del programa principal del microcontrolador, mientras que la opresión de la tecla de ALARMA provoca una interrupción externa en el terminal RB0/INT. La rutina de atención a esta interrupción envía el código antes mencionado al módulo LANTRONIX.

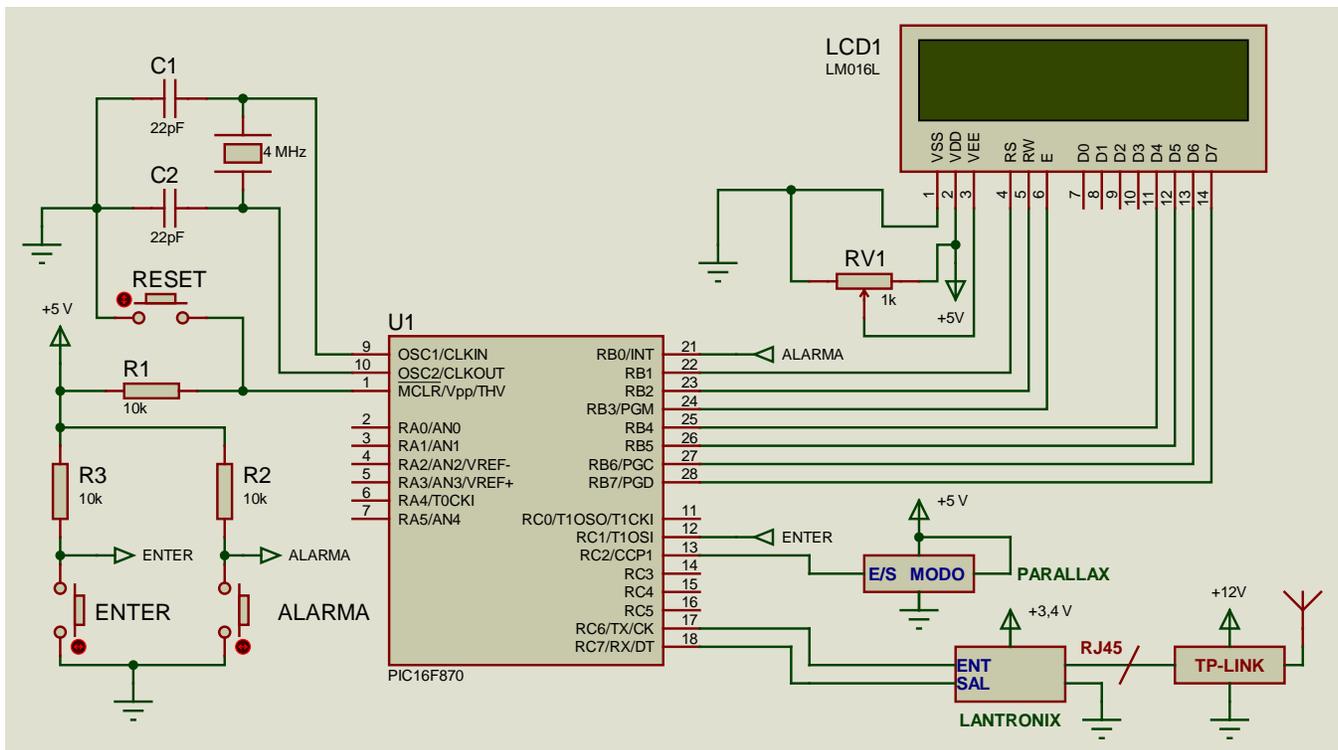


Figura 6  
 Diagrama del sistema móvil de adquisición y transmisión.

El terminal Modo del módulo GPS PARALLAX se conecta a nivel ALTO lo que permite que el módulo GPS opere en el

modo inteligente y sea capaz de transferir, por un solo hilo (el terminal E/S), los datos TTL en formato serie asincrónico con 1 bit de inicio, 8 bits de datos y 1 bit de parada, a una velocidad de 4800 bps. Como el terminal RC2 del PIC va conectado al terminal E/S del módulo GPS, entonces se debe configurar al terminal RC2 con los mismos parámetros anteriores para garantizar el intercambio entre ambos. A pesar de que el terminal RC2 no se corresponde al de un puerto serie, el lenguaje de programación PICBASIC PRO (PBP), usado en este trabajo, permite emplear cualquier terminal del puerto C para recibir y transmitir datos serie asíncronos usando las instrucciones SERIN2 y SEROUT2. La sintaxis de estas instrucciones y su uso se explica a continuación:

**a) SERIN2 Terminal, Velocidad, [Var1, Var2,... VarN]**

Permite recibir los datos series asíncronos (1 bit de inicio, 8 bits de datos, sin bit de paridad, y un bit de parada) a través del Terminal especificado. El parámetro *Velocidad* es una constante que equivale a una velocidad de transmisión en baudios. Para la frecuencia de reloj de 4 MHz, esta constante es igual a 84 y 188 para las velocidades de transmisión de 9600 baudios y 4800 baudios, respectivamente, según las especificaciones del lenguaje PBP. Los parámetros *Var1, Var2,..., VarN* indican los nombres de las variables donde se almacenarán secuencialmente los *N* datos de 8 bits recibidos.

En este trabajo, el microcontrolador debe recibir periódicamente, desde el módulo GPS PARALAX, la trama de cinco bytes con la información de latitud, en respuesta al comando **GetLat** (Tabla 2) enviado previamente. Para recibir esta trama, por el terminal C.2 se usa la instrucción siguiente:

**SERIN2 SIO,188,[GRADOS,MINUTOS,I,J,X]**

Donde:

- SIO es el símbolo asignado (en la cabecera del programa) al terminal C.2 del PIC16F870 (sentencia: SIO VAR PORTC.2;)
- 188 define la velocidad de transmisión de 4800 baudios usada para la comunicación con el módulo GPS
- GRADOS,MINUTOS,I,J,X son las variables donde se almacenan los datos de: Grados, Minutos, Minutos fraccionales (I, J) y Dirección (X) enviados por el módulo GPS PARALLAX.

**b) SEROUT2 Terminal, Velocidad, [Var1, Var2,..., VarN]:** Esta instrucción es la homóloga a la instrucción SERIN2 para el caso en que se desee transmitir datos series asíncronos usando el mismo formato. Los parámetros tienen el mismo significado explicado anteriormente.

Desde el punto de vista de transmisión, el microcontrolador debe enviar comandos al módulo GPS y datos de posición al módulo LANTRONIX a las velocidades de 4800 baudios y 9600 baudios, respectivamente. A continuación se muestran las instrucciones utilizadas para enviar un comando de solicitud de las coordenadas de latitud al módulo GPS y para enviar los datos de la latitud, que habían sido adquiridos y almacenados previamente en variables de memoria:

**SEROUT2 SIO,188,["!GPS",5]** ; Solicitud de las coordenadas de latitud al módulo GPS

**SEROUT2 TX,84,[GRADOS,MINUTOS]** ; Envío de la latitud al módulo LANTRONIX

Donde:

- SIO y 188 tienen los mismos significados definidos anteriormente.
- "!GPS" es el dato de cabecera que debe recibir el módulo GPS para empezar la comunicación
- 5 corresponde al comando **GetLat** (Tabla 2) enviado al módulo GPS para solicitar las coordenadas de latitud
- TX es el símbolo asignado (en la cabecera del programa) al terminal C.6 del PIC16F870 (sentencia: TX VAR PORTC.6;)
- 84 define la velocidad de transmisión de 9600 baudios usada para la comunicación con el módulo LANTRONIX
- GRADOS,MINUTOS son las variables enviadas al módulo LANTRONIX.

En la figura 6 se observa el uso de tres tensiones de alimentación: +12 V para el módulo de acceso inalámbrico móvil TP-LINK, +5 V para los módulos CPU-LCD y GPS PARALLAX, y 3,4 V para el módulo LANTRONIX. Todas las tensiones de alimentación del dispositivo móvil fueron derivadas de la batería del vehículo de prueba (12 V durante el apagado y 14 V durante el encendido) usando el conector del encendido para portátiles. Para proteger a los diversos elementos del sistema se utilizaron reguladores de tensión en cada placa. La tensión de +5 V se obtuvo usando el regulador lineal LM7805 (corriente de salida hasta 1 A) y la de 3,4 V se obtuvo a partir de la tensión regulada de 5 V, colocando 2 diodos 1N4001 en serie. El módulo de acceso inalámbrico fijo se alimenta de su propio adaptador de +24 V/0,5A y se colocó en un lugar elevado de la institución lo que garantizó visibilidad radioeléctrica total durante todo el recorrido del vehículo en el interior del campus.

### 3.2.- DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo del programa principal y del programa de atención a la interrupción externa se muestra en la figura 7.

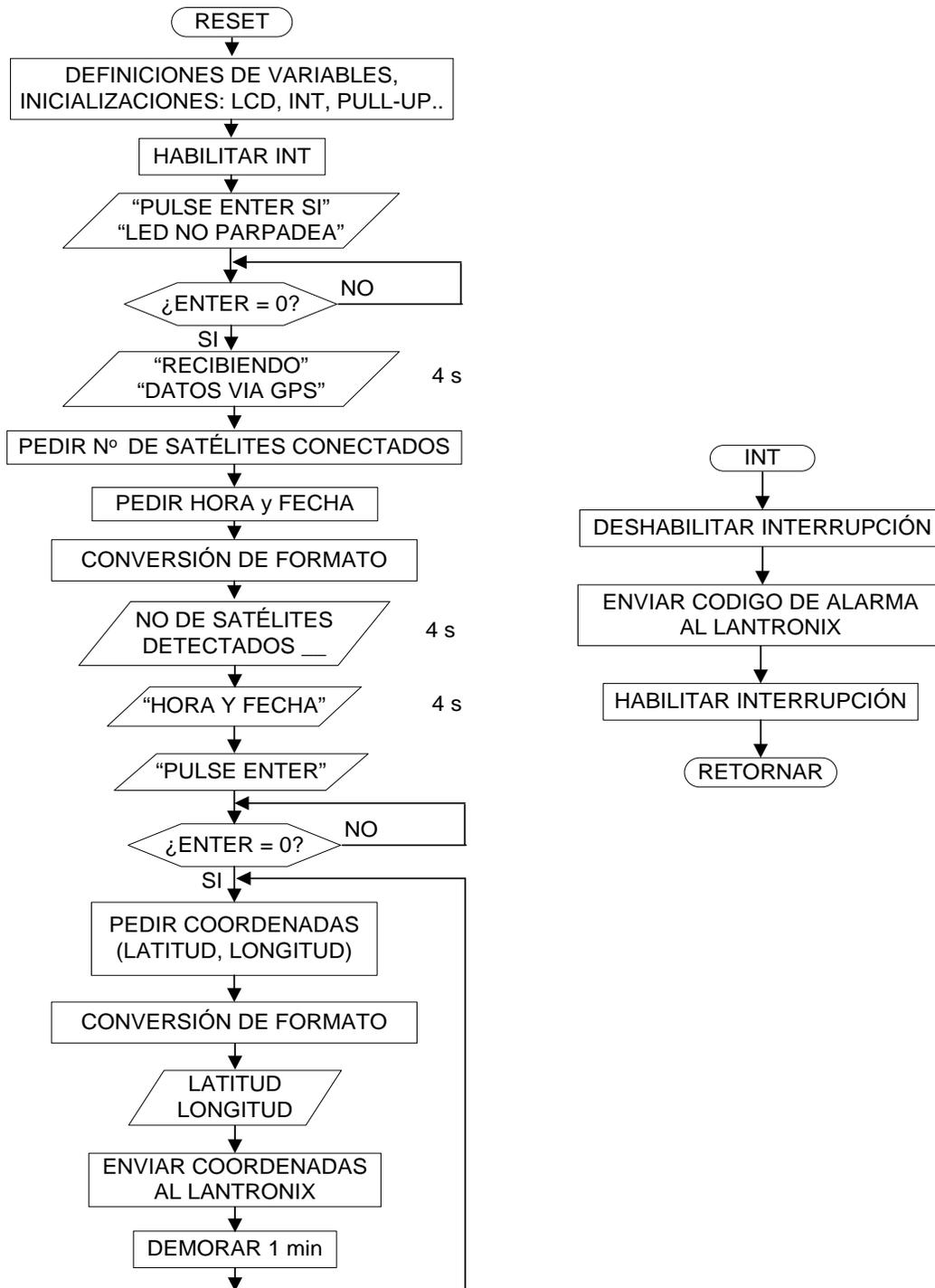


Figura 7

Diagrama de flujo del programa principal (izquierda) y del programa de atención a la interrupción externa INT (derecha).

En el programa principal, inicialmente se definen las variables del programa, se inicializa el módulo LCD (modo de 4 bits, caracteres de 5 x 7 puntos, dos filas, sin desplazamiento del mensaje, cursor apagado), se activan las resistencias de *pull-up* del puerto B, se configura la activación de la interrupción externa INT por flanco de caída y se habilita la misma. A continuación se muestra un cartel en el LCD invitando al usuario a pulsar la tecla ENTER cuando el LED del receptor de GPS deje de parpadear y permanezca encendido, proceso que puede demorar hasta 5 minutos. Esta espera garantizará que el receptor GPS esté listo para enviar los datos recibidos desde el satélite.

Una vez que el usuario presione el botón "ENTER", aparece el mensaje "RECIBIENDO DATOS VIA GPS" durante 4 s, luego se solicita al GPS: la cantidad de satélites detectados mediante el comando **GetSats** (Tabla 2) así como la fecha y hora mediante los comandos **GetDate** y **GetTime**, respectivamente (Tabla 2); seguidamente se reciben las tramas de respuesta y se almacenan en las variables correspondientes para su posterior conversión de formato y visualización en el LCD. La conversión de formato para cada variable de la trama recibida permite su posterior exhibición en el LCD y consiste en los siguientes pasos: (a) conversión de binario a decimal, (b) separación de dígitos decimales según el tamaño de la variable (si es un byte, en dos dígitos decimales: decenas y unidades, si es una palabra, en 5 dígitos decimales) y (c) conversión de cada dígito decimal a su carácter ASCII.

La variable que almacena el número de satélites retornados es de un byte (dos dígitos decimales) y las de la fecha y el tiempo UTC son de tres bytes (seis dígitos decimales) cada una. Para obtener la hora local ecuatoriana, es necesario restarle cinco a la transmitida por el GPS. La fecha se visualiza en la primera fila del LCD y la hora en la segunda, durante 4 s, y luego se muestra un cartel invitando a pulsar la tecla ENTER. Cuando esto ocurre, el microcontrolador comienza un ciclo infinito que se repite cada un minuto aproximadamente, en el que solicita al GPS las coordenadas de latitud y longitud mediante los comandos **GetLat** y **GetLong**, respectivamente, se reciben las tramas de respuesta (Tabla 2), se almacenan en las variables correspondientes para cada uno de esos comandos (los nombres de las variables coinciden con los de la columna de la extrema derecha de la Tabla 2), se les realiza el cambio de formato como se explicó anteriormente, y se visualizan en el LCD: la latitud en la primera fila y la longitud en la segunda fila.

Antes de transmitir la posición al módulo LANTRONIX, es necesario convertir los minutos fraccionales (expresados en el formato del modo inteligente) a segundos (formato requerido por la aplicación *Google Earth*). El resto de los datos (grados y minutos) es compatible en ambos formatos. El muestreo y envío de las coordenadas de posición cada un minuto se escoge bajo el criterio de que es el mínimo tiempo posible para que un vehículo de transporte urbano se pueda desplazar de una parada a otra.

En el programa de atención a interrupción se deshabilita la interrupción, se envía el carácter no imprimible ESCAPE (código de alarma) al módulo LANTRONIX, seguidamente se habilitan las interrupciones y finalmente se retorna al programa principal. El programa del terminal remoto recibe toda la información y la grafica en su pantalla, sobre un plano digitalizado usando la aplicación *Google Earth*. El efecto del código de ALARMA es mostrar un punto rojo en el borde superior derecho de la pantalla.

## 4.- EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO: PRUEBAS Y RESULTADOS

Inicialmente se realizaron pruebas de laboratorio para verificar el funcionamiento de cada una de las partes del dispositivo móvil, primero, mediante la simulación con la aplicación PROTEUS, y luego mediante el montaje y verificación directa del circuito. La simulación permitió depurar el programa de visualización en el LCD y realizar algunas pruebas de transmisión genéricas desde el microcontrolador PIC hacia el módulo LANTRONIX usando el terminal virtual del PROTEUS para visualizar los datos enviados en la pantalla del ordenador.

En la figura 8a se muestra el montaje de tres de los módulos del dispositivo móvil. La puesta a punto del circuito se inició por el módulo de control y visualización, luego se probó el módulo GPS con un programa simple que sólo mostraba en el LCD la latitud recibida, y finalmente, se probó la comunicación entre el microcontrolador y el módulo LANTRONIX, transmitiéndose una secuencia de caracteres ASCII que se visualizaban en un computador personal conectado al RJ45 del módulo LANTRONIX. En todos los casos se obtuvieron resultados exitosos.

Luego se pasó a la siguiente fase experimental: las pruebas de campo, para lo cual fue necesario instalar todo el dispositivo móvil en un vehículo (figura 8b) y se realizaron dos recorridos: uno dentro del campus, donde la velocidad máxima está limitada a 40 km/h y otro fuera del campus para experimentar velocidades mayores (hasta 120 km/h).



Figura 8

- (a) Implementación del dispositivo móvil de adquisición y transmisión formado por los módulos: GPS PARALLAX (parte superior izquierda), XPORT de LANTRONIX (parte superior derecha) y de control y visualización (parte inferior)  
(b) Montaje del dispositivo en el retrovisor central del vehículo de prueba.

El recorrido realizado dentro del campus tuvo una duración de 8 minutos, la velocidad promedio fue de 25 km/h (velocidades de 0 a 40 km/h) y la distancia recorrida fue de 1,63 km. Durante todo el recorrido existieron condiciones de visibilidad directa entre el punto de acceso fijo y el móvil. En la primera realización de este recorrido se verificó la comunicación desde el microcontrolador PIC a la computadora portátil del terminal remoto, y en las dos restantes realizaciones se comprobó el sistema completo incorporando al módulo GPS. La comunicación serie entre el microcontrolador PIC16F870 y el XPORT de LANTRONIX tuvo la siguiente configuración: 8 bits, 9600 bps, 1 bit de inicio, 1 bit de parada, y datos no invertidos. Las pruebas experimentales mostraron que todos los tiempos de transmisión de los datos fueron extremadamente inferiores a un minuto, que es el tiempo en que el microcontrolador actualiza la información desde el módulo GPS. En la figura 9 se muestra el seguimiento del vehículo durante la ruta realizada dentro del campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG).

Se realizaron 16 paradas en el interior del campus, en cada parada el vehículo estuvo un minuto aproximadamente y luego continuó el recorrido. Para cada coordenada de latitud y longitud adquirida y transmitida por el prototipo en cada parada se calculó el error de posición respecto a *Google Earth*, tanto en latitud (un grado equivale a 111,319 km) como en longitud (un grado equivale a 111,131 km), obteniéndose errores máximos en latitud y longitud de 4,4 m y 6,1 m, respectivamente. Los errores máximos de latitud y longitud no ocurrieron en el mismo punto geográfico, o sea, en la misma parada del vehículo. No obstante, si así hubiese sido, los valores máximos anteriores provocarían un error de distancia máximo, entre la posición geográfica real y la estimada, igual a 7,52 m (aplicando el teorema de Pitágoras) lo cual es admisible por las normativas del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) de Ecuador que sugiere que el error máximo de los receptores GPS para el cálculo de la posición es de 10 m. De esta forma, el prototipo construido cumple con lo establecido por este organismo regulador de las comunicaciones y por otro lado, reafirma que la exactitud de posición del módulo GPS PARALLAX es de 10 m (+/-5 m). Las pruebas realizadas en la UCSG no presentaron problemas, en cuanto a velocidad, cobertura ni alimentación. La máxima distancia posible (estimada) en línea recta entre el módulo *NanoStation UB NSM2* y el TPLINK es de 350 m aproximadamente, por lo cual en este experimento se corroboró que en condiciones de visibilidad directa y sin obstáculos, el alcance del TPLINK es igual o superior a esta distancia, tal como se expresó en el apartado 2.3.

El recorrido fuera del campus se realizó en una autopista aledaña con velocidades entre 0 km/h y 120 km/h, y en condiciones de aceleración bruscas entre 1,66 m/s<sup>2</sup> (0 a 100 km/h en 20 s) y 2,2 m/s<sup>2</sup> (0 a 120 km/h en 15 s). Como en este caso no había cobertura de la red Wi-Fi, se fotografió del LCD toda la información de posición, velocidad y tiempo UTC en lugares bien referenciados en *Google Earth*. De esta forma, se verificó que el módulo GPS posee la capacidad de obtener correctamente las coordenadas de posición (y otros datos del satélite) cuando el vehículo se mueve a velocidades mayores o experimenta aceleraciones considerables, en cuyos casos, el cambio de la posición del vehículo es mayor. Todo lo anterior permitió verificar el funcionamiento exitoso del dispositivo construido. El costo total del dispositivo móvil fue de \$254.

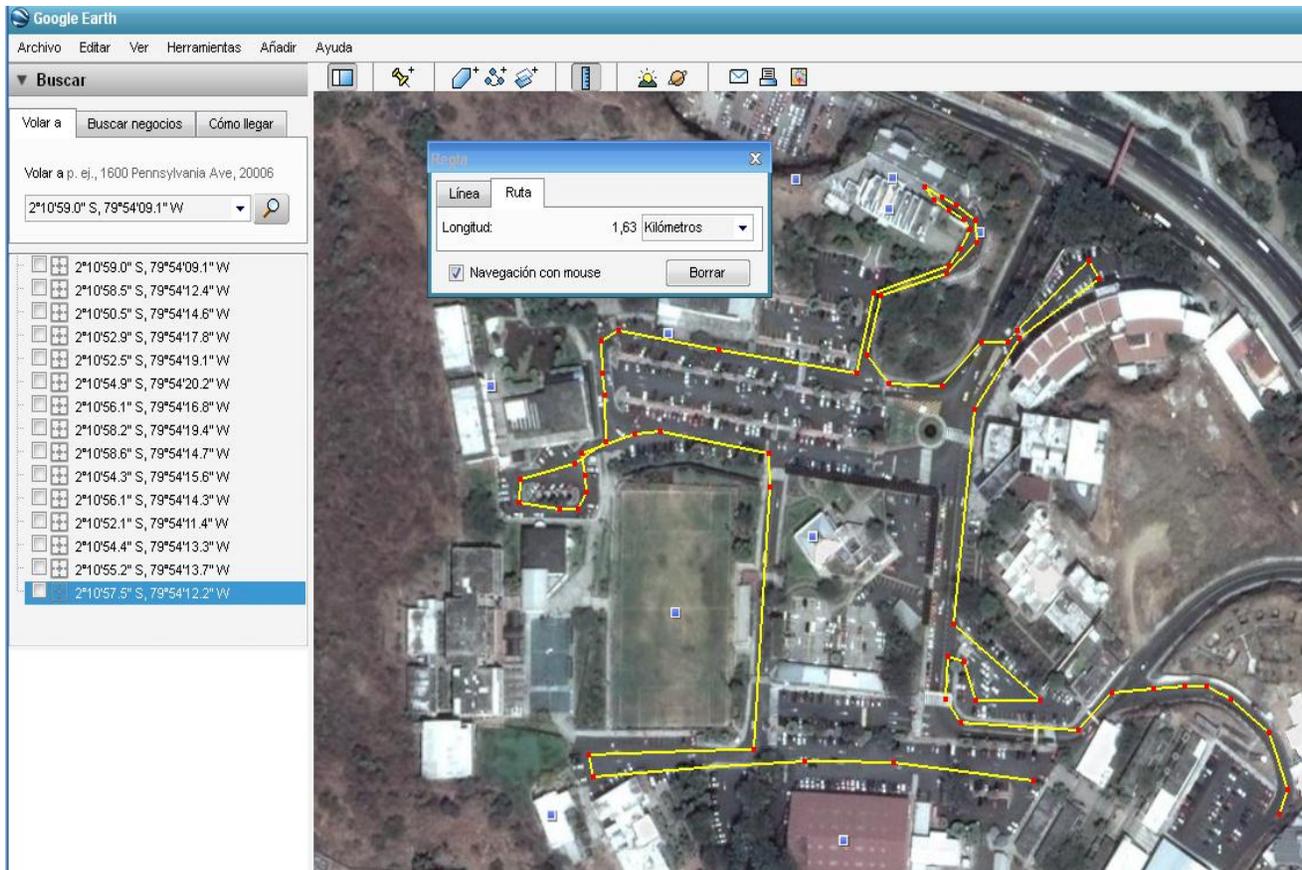


Figura 9

Ruta de la prueba realizada en el Campus de la UCSG.

## 5.- CONCLUSIONES

Este trabajo aborda las tecnologías inalámbricas como una alternativa para un sistema de localización geográfica de un vehículo. Se diseñó y desarrolló un dispositivo de adquisición y transmisión de la posición de un vehículo móvil usando el sistema GPS y la tecnología Wi-Fi, respectivamente. Se verificó el correcto funcionamiento del dispositivo a nivel de simulación de programas, de pruebas en condiciones estáticas y durante el desplazamiento del vehículo a velocidades variables de 0 a 40 km/h y de 0 a 120 km/h con aceleraciones bruscas. Las pruebas experimentales evidenciaron que el prototipo desarrollado fue capaz de adquirir y transmitir las coordenadas de latitud y longitud con una exactitud mínima de 4,4 m y 6,1m, respectivamente, a bajas velocidades, y funcionó correctamente a velocidades mayores y aceleraciones bruscas. Se recomienda incorporar al software del dispositivo la posibilidad de recibir información desde el terminal remoto e implementar mecanismos de seguridad para la protección de los datos transmitidos. Este dispositivo Wi-Fi, a pesar de su limitada cobertura, pudiera constituir un pequeño subsistema de una red de monitoreo de mayor alcance geográfico que combine tecnologías alámbricas e inalámbricas. Esto permitiría ser usado a gran escala en el seguimiento vehicular del transporte urbano.

## REFERENCIAS

1. Baburao K, Raju V, Srinivasa RS, Prabu A, Appa RT, Narayana Y. GSM and GPS Based Vehicle Location and Tracking System. International Journal of Engineering Research and Applications. 2011; 1(3): 616-625.
2. Sourabh P, Pushkar M, Pankaj H. Tracking and Positioning of Mobile Systems in Telecommunication Networks. International Journal of Engineering Research and Applications, 2011; 1(3): 1080-1087.
3. Ramya S. From Beepers to GPS: Can The Fourth Amendment Keep Up With Electronic Tracking Technology? Journal of Law, Technology & Policy, 2009; Volume2009(1): 281-294.
4. Han-Lee S. Taiwan Automatic Vehicle Location in Cellular Communications Systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 1994; 43 (4): 902-908.

5. Pankaj V, Bhatia JS. Design and Development of GPS-GSM Based Tracking System With Google Map Based Monitoring. International Journal of Computer Science, Engineering and Applications. 2013; 3(3): 189-194.
6. Montes Casiano HF. Localización y seguimiento de dispositivos móviles. Tesis de maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional; 2012. Disponible en: <http://delta.cs.cinvestav.mx/~pmaalvarez/tesis-hermes.pdf>.
7. Tanenbaun AS. Redes de computadoras. 4a. ed. México: Pearson Education/Prentice Hall; 2003.
8. Medany W, Al-Omary A, Al-Hakim R, Al-Irhayim S, Nusaif MA. Cost Effective Real-Time Tracking System Prototype Using Integrated GPS/GPRS Module. 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC); España; 2010. p. 521-525.
9. Verma PJ, Bhatia, JS. Design and Development of GPS-GSM Based Tracking System With Google Map Based Monitoring. International Journal of Computer Science, Engineering and Applications. 2013; 3 (3): 33-40.
10. Tarapiah S, Atalla S. Public Transportation Management System Based on GPS/WIFI and Open Street Maps. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2015; 6 (1): 189-194.
11. PARALLAX INC. Parallax PAM-7Q GPS Module Product Guide, 2014. California (USA). Disponible en: [https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28509-PAM-7Q-GPS-Module-Product-Guide-v1.0\\_1.pdf](https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28509-PAM-7Q-GPS-Module-Product-Guide-v1.0_1.pdf).
12. LANTRONIX INC. XPort Direct™ Demonstration Kit Quick Start Guide, 2007. California (USA). Disponible en: [http://www.lantronix.com/wp-content/uploads/pdf/XPort-Direct-Plus\\_QS.pdf](http://www.lantronix.com/wp-content/uploads/pdf/XPort-Direct-Plus_QS.pdf).
13. TP-Link Technologies Co., Ltd. 150 Mbps Wireless N Mini Pocket Router TL-WR700N Datasheet, 2016. California (USA). Disponible en: [http://static.tp-link.com/resources/document/TL-WR700N\\_datasheet.zip](http://static.tp-link.com/resources/document/TL-WR700N_datasheet.zip).
14. Ubiquiti Networks, Inc. NANOSTATION M Datasheet Models: NSM2, NSM3, NSM365, NSM5, locoM2, locoM5, locoM9, 2016, California (USA). Disponible en: [https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm\\_ds\\_web.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/nanostationm/nsm_ds_web.pdf).
15. Reyes, CA. Microcontroladores PIC: Programación en Basic. 3a. ed. Ecuador: RISPERGRAF; 2008.

## AUTORES

**Carlos Román Vázquez Seisdedos**, Ing. Telecomunicaciones, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios de Neurociencias, Procesamiento de Imágenes y Señales, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, [cvazquez@uo.edu.cu](mailto:cvazquez@uo.edu.cu). Investiga en instrumentación electrónica y biomédica, sistemas a microprocesadores, procesamiento y análisis de señales biomédicas.

**Edwin Fernando Palacios Meléndez**, Ing. Telecomunicaciones, M. Sc. en Telecomunicaciones, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayas, Ecuador, [edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec](mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec). Investiga en sistemas de comunicaciones, procesamiento y análisis de señales biomédicas.

**Luis S. Córdova Rivadeneira**, Ing. en Electricidad (Especialización Electrónica), M. Sc. en Telecomunicaciones, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayas, Ecuador, [lcordovar@yahoo.com](mailto:lcordovar@yahoo.com).

**Manuel Romero Paz**, Ing. en Electricidad (Especialización Electrónica), M. Sc. en Telecomunicaciones, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayas, Ecuador, [manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec](mailto:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec). Investiga en procesamiento y análisis de señales en comunicaciones por líneas de potencia eléctrica (PLC) y en redes inteligentes (*Smart Grids*).